

УДК 621.311

О СРАВНЕНИИ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

БАЛАМЕТОВ Э.А.

*Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский
Институт Энергетики*

Реферат. Рассматриваются две модели расчета распределения потоков энергии в электрических сетях, использующие измерения системы учета электроэнергии. Приводятся результаты сопоставления методов по точности решения задачи и трудоемкости моделирования. Приводятся результаты сопоставления на тестовых примерах.

Постановка задачи расчета распределения потоков энергии приобретает большое значение в связи с переходом на рыночные механизмы управления в энергетике.

Измерительные комплексы учета энергии построены на принципы интегрирования мгновенной мощности. Задачу расчета потоков энергии можно свести к задаче потокораспределения средних мощностей [1-6].

Уравнения узловых напряжений (УУН) при моделировании потоков энергии по усредненным мощностям в общем случае не обеспечивает адекватности. В общем случае УУН не могут применяться в качестве уравнений состояния для задачи расчета потоков энергии. Основной причиной этой неадекватности является различие в расчете потерь мощности и энергии.

Расчет режима распределения потоков энергии предполагает рассмотрение задачи на длительных интервалах времени - сутки, месяц, квартал, год и т.п. При этом на длительных интервалах времени возможны изменения топологии сети.

В данной статье рассматриваются вопросы моделирования распределения потоков энергии для случаев когда электрическая сеть (ЭС) приводится к разомкнутой радиальной. Размыкание замкнутых контуров производится по одной из ветвей контура, представлением их эквивалентной схемой заданием в местах размыкания соответствующих потоков энергии. Для задания в размыкаемой ветви потоков производится вводом дополнительных измерений по счетчикам технического учета энергии.

Первая модель распределения потоков энергии. Уравнения состояния при решении задачи распределения потоков определяются системой уравнений узловых балансов электроэнергии (ЭЭ). Расчетные оценки узловых активных W_{pi} и реактивных W_{Qi} и линейных W_{pij} и W_{Qij} - потоков ЭЭ образуют для всех N узлов ($i= 1, 2, 3, \dots, N$) сети систему ограничений-равенств вида

$$W_{pi} = \sum_{j=1}^N W_{pij} \quad (1)$$

$$W_{Qi} = \sum_{j=1}^N W_{Qij} \quad (2)$$

Нагрузочные потери активной и реактивной ЭЭ на всех линейных элементах сети за время T рассчитываются по формуле

$$\Delta W_{P_{\text{ннi}}} = W_{P_{ij}} - W_{P_{ji}} = \frac{k_{\text{фij}}^2 \cdot (W_{P_{ij}}^2 + W_{Q_{ij}}^2)}{U_{\text{срj}}^2 T} \cdot R_{ij} \quad (3)$$

$$\Delta W_{Q_{\text{ннi}}} = W_{Q_{ij}} - W_{Q_{ji}} = \frac{k_{\text{фij}}^2 \cdot (W_{P_{ij}}^2 + W_{Q_{ij}}^2)}{U_{\text{срj}}^2 T} \cdot R_{ij} \quad (4)$$

где R_{ij} - активное сопротивление элемента сети; $k_{\text{фij}}^2$ - коэффициент формы графика нагрузки; $U_{\text{срj}}$ - среднее напряжение j -го узла за время T .

Потоки активной $W_{P_{ij}}$ и реактивной $W_{Q_{ij}}$ ЭЭ в формулах (1-4) являются расчетными величинами.

Постоянные потери ЭЭ на всех поперечных элементах схемы замещения сети определяются из

$$\Delta W_{iP_{\text{xx}}} = U_{\text{срi}}^2 T * g_i \quad (5)$$

$$\Delta W_{iQ_{\text{xx}}} = U_{\text{срi}}^2 T * b_i \quad (6)$$

где g_i и b_i - активные и реактивные проводимости на землю в i -м узле.

Уравнения состояния задачи распределения потоков энергии (1-6) являются системой нелинейных уравнений. Размерность уравнений в соответствии по первой модели при совместном решении систем нелинейных уравнений распределения потоков энергии по активной и реактивной энергии (1-6) численными методами составляет $4M$ (M -число ветвей). Для замкнутых кольцевых сетей необходимо иметь линейные измерения ЭЭ, равные числу независимых контуров $M-N+1$. Размерность нелинейных уравнений для распределения потоков энергии для кольцевых сетей увеличиваются на $4(M-N+1)$ и составляет $4*M+4*(M-N+1)$. Соответствующие ветви независимых контуров, в которых задаются линейные измерения ЭЭ, разрываются, и представляются дополнительными узлами с соответствующим разнесением линейных потоков энергии в узлы. Поэтому использование данного метода не ограничивается сложностью схемы.

Для учета нелинейности необходима организация итерационного процесса расчета. В данном методе предполагается, что средние напряжения узлов получаются из архива измерений напряжений. Информация об измерениях напряжений имеются не во всех узлах.

Задача распределения потоков энергии при этом ставится без решения УУН электрической сети. При отсутствии информации об измерениях напряжений, по какой либо причине такая постановка приводит к невыполнимости моделирования распределения потоков энергии.

В УУН обычно искомыми являются модули и фазовые углы напряжений узлов или действительные и мнимые составляющие напряжений узлов. Потоки мощности определяются в конце решения по известным напряжениям узлов. Использование УУН для описания распределения потоков энергии с усреднением мощностей в общем случае не могут применяться в качестве уравнений состояния. Расчет распределения потоков энергии на основе УУН чувствительный к изменению топологии и режимных параметров и при неточности исходной информации, может привести к существенным погрешностям и к неадекватности модели распределения потоков энергии.

Вторая модель распределения потоков энергии. В данной постановке задачи расчета потоков энергии используются уравнения (1-6), напряжения узлов определяются по заданным потокам решением уравнений состояния метода расчета «в два этапа».

Решение уравнений состояния сводится к задаче потокораспределения средних мощностей по следующему алгоритму.

Производится расчет матрицы задающего тока

$$\dot{I}_i = \frac{\dot{W}_i}{T \cdot \dot{U}_i} \quad (7)$$

Производится расчет режима: определяются токи в ветвях,

$$\dot{I}_{ij} = M^{-1} \cdot \dot{I}_i \quad (8)$$

Вычисляются падения напряжения в ветвях,

$$\Delta \dot{U}_{ij} = Z_{ij} \cdot \dot{I}_{ij} \quad (9)$$

Рассчитываются напряжения в узлах

$$\dot{U}_i = (M^{-1})^T \cdot \Delta \dot{U}_{ij} \quad (10)$$

Здесь M – первая матрица инцидентий, Z - диагональная матрица сопротивлений ветвей.

Определяются потери полной мощности в ветвях

$$\Delta \dot{S}_{ij} = \dot{I}_{ij}^T \cdot Z_{ij} \cdot \dot{I}_{ij}^* \quad (11)$$

При расчете потерь ЭЭ используются выражения (3-6). Итеративное уточнение потерь и потоков энергии в элементах сети производится по уравнениям (7-11) до достижения желаемой точности по разнице суммарного потока ЭЭ в БУ. Практически приемлемое решение этим методом расчета обычно достигается за 2-3 приближения.

В данной постановке совместно решаются задачи распределения потоков активной и реактивной электроэнергии в ЭС с расчетом потерь ЭЭ по напряжениям усредненного режима совместно. В отличие от применения численных методов решения нелинейных уравнений, использование метода расчета «в два этапа» лишено вычислительных трудностей. Количество нелинейных уравнений для расчета напряжений для разомкнутых сетей в методе расчета «в два этапа» составляет $2(N-1)$.

Вторая модель распределения потоков энергии позволяет использовать стандартные программные средства и расчет потокораспределения при отсутствии информации о средних напряжениях в узлах.

Анализ распределения потоков энергии на примере простой сети постоянного тока (рис. 1).

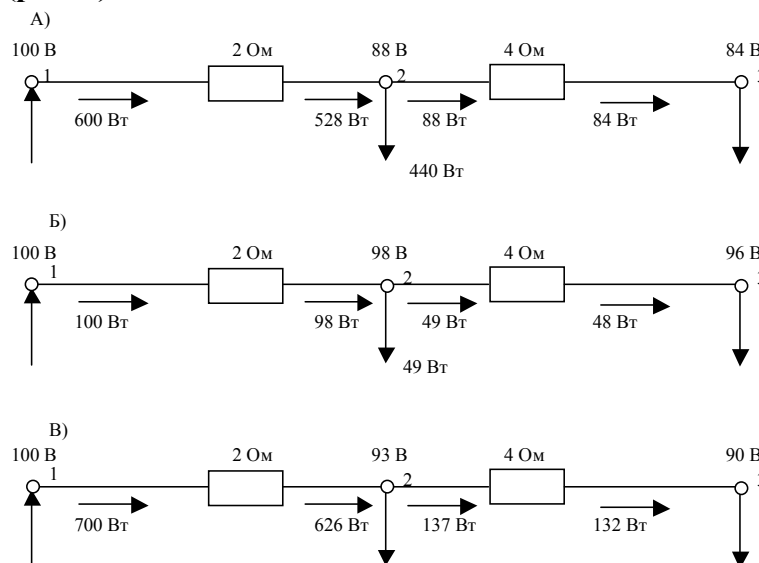


Рис1. Режим сети: А - первый час; Б - второй час; В- распределение энергии за два часа.

Решение системы уравнений для потерь по данным конца линий дает $P_{12}=346.41$ Вт, $P_{21}=313.06$ Вт, $P_{23}=68.56$ Вт, $P_{32}=66.23$ Вт $\Delta P_{12}=33.34$, $\Delta P_{23}=2.31$ и $W_{12}=692.82$ Втч, $W_{21}=626.12$ Втч, $W_{23}=137.12$ Втч, $W_{32}=132.46$ Втч, и для потерь ЭЭ в ветвях $\Delta W_{12}=66.70$, $\Delta W_{23}=4.76$. При этом погрешность в потерях мощности ветви 2-3 составляет 5 % и ветви 1-2 составляет 10.9 %. Погрешность в потоке мощности ветви 1-2 составляет 1.03 %.

Решение системы уравнений для потерь по данным начала линий дает $P_{12}=349.907$ Вт, $P_{21}=312.92$ Вт, $P_{23}=68.42$ Вт, $P_{32}=66.08$ Вт $\Delta P_{12}=37$, $\Delta P_{23}=2.346$ и $W_{12}=699.814$ Втч, $W_{21}=625.84$ Втч, $W_{23}=136.84$ Втч, $W_{32}=132.16$ Втч, и для потерь ЭЭ в ветвях $\Delta W_{12}=73.987$, $\Delta W_{23}=4.68$. При этом погрешность в потерях мощности ветви 2-3 составляет 6.8%. Погрешность в потоке мощности ветви 3-2 составляет 0.12%.

По второму алгоритму заданным является напряжение узла 1, $U_1=100$ В. Расчетные значения напряжений узлов по методу в два этапа имеют значения $U_{2p}=93$ В и $U_{3p}=90.05$ В.

Анализ распределения потоков энергии на примере простой кольцевой сети постоянного тока. Решение системы уравнений по предлагаемой в статье модели для потерь по данным конца линий дает $P_2=429$ Вт, $P_3=191.5$ Вт, $P_{21}=429.5$ Вт, $P_{23}=-0.5$ Вт, $P_{32}=-0.5$ Вт, и для потерь ЭЭ в ветвях $\Delta W_{12}=66.68$, $\Delta W_{23}=4.62$. При этом направление потока мощности в ветви (3-2) вместо -0.5 получается $+0.5$. Также имеют место, погрешности в потоках мощности ветвей достигающие около 0.25- 0.45% и потерях 0.45-0.88%.

Расчеты произведены при разрезании контура по ветви 2-3, заданием в узле №2 дополнительной нагрузки $P_{2д}=0.5$ Вт, вводом дополнительного узла №4 в конце ветви 3-2 (за сопротивлением) и заданием в этом узле нагрузки $P_4=-0.5$ Вт.

Решение систем нелинейных уравнений проводилось с использованием стандартных программ в системе MATHCAD.

Таким образом, уравнения состояния для процесса распределения энергии по первой и второй моделям даже для постоянного состояния схемы имеют погрешности. Однако расчета распределения потоков использованием метода «в два этапа» [4-5] обладают следующими преимуществами.

В первом методе расчета требуется формирования и решения системы нелинейных уравнений большой размерности численными методами, что связано с известными сложностями сходимости итерационного процесса.

Расчет распределения потоков энергии использованием для определения напряжений узлов метода «в два этапа» решение системы уравнений производится методом последовательных приближений. При задании средних значений напряжений расчет производится за один этап без итерационного уточнения потерь в элементах сети. При отсутствии информации о средних значениях напряжений расчет производится по напряжениям, полученным из усредненного режима по потокам энергии. Для практического моделирования распределения энергии метод «в два этапа» имеет явные преимущества.

Заключение

1. Рассматриваются модели расчета распределения потоков и потерь энергии путем представления исходной схемы ЭС эквивалентной радиальной, вводом дополнительных замеров, равными числе контуров схемы.

2. Задача расчета потоков энергии сводится к задаче потокораспределения средних мощностей. Проведен анализ эффективности расчета потоков энергии и оценки погрешности модели произведен сопоставлением результатов расчета по двум моделям на простых примерах электрических сетей.

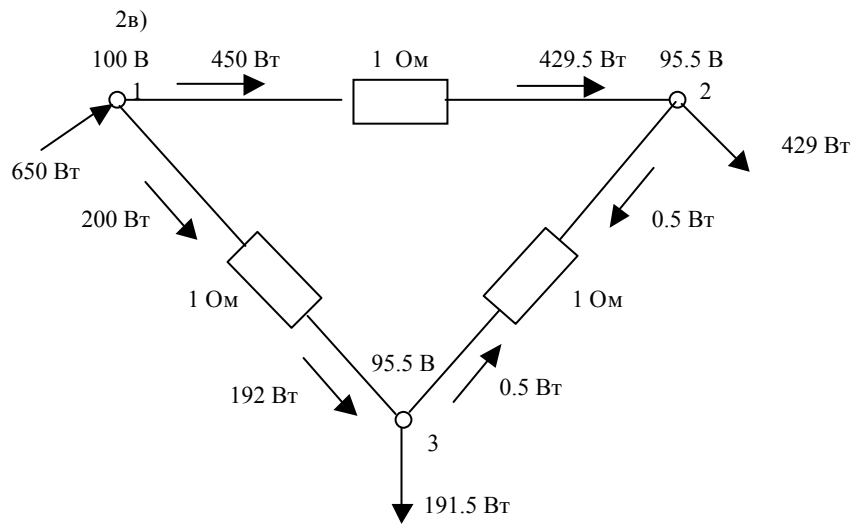
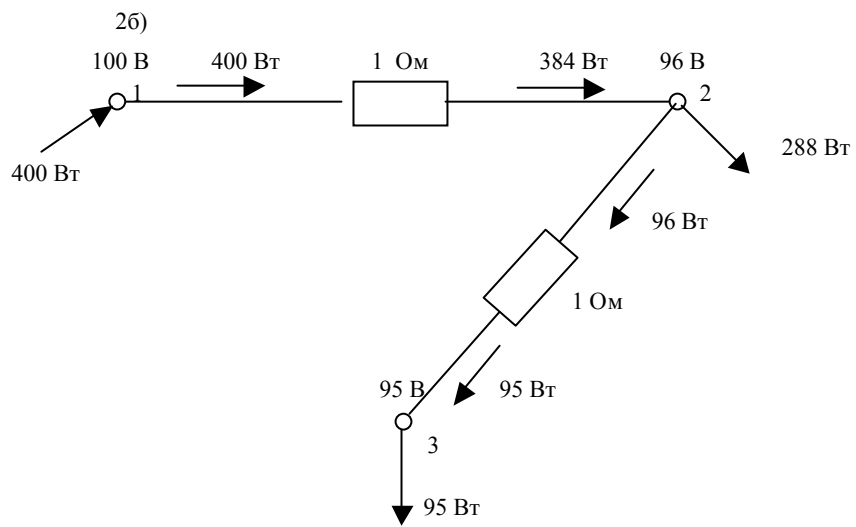
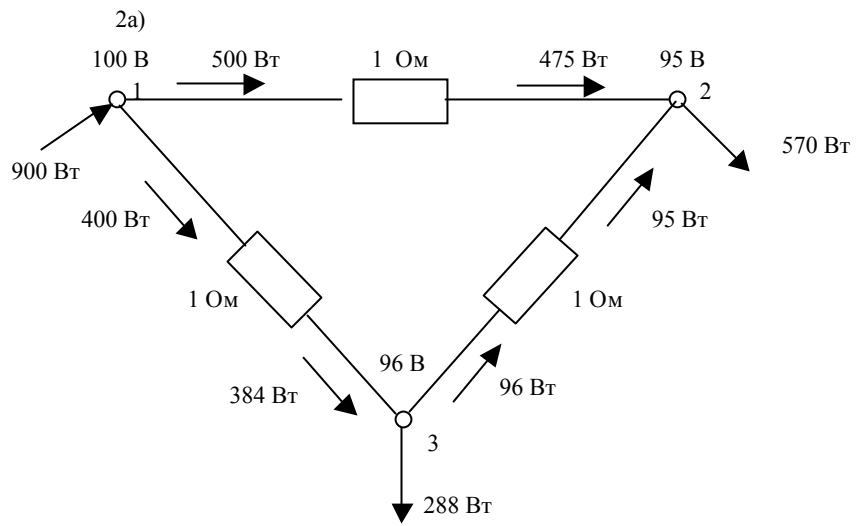


Рис 3.3. Режим сети: 2а - первый час; 2б - второй час; 2в - распределение энергии за два часа.

3. Для расчета потерь и распределения потоков энергии более эффективным является метод основанном на совместном решении задачи распределения потоков электроэнергии как задачу потокораспределения средних мощностей с использованием метода «в два этапа» использующая упрощенный метод решения нелинейных уравнений – метод последовательных приближений.

1. Электрические системы. Электрические расчеты, программирование и оптимизация режимов. Под. Ред. В.А. Веникова.М., «Высшая школа», 1973, 320 с.

2. *Г.Е. Поспелов, Н.М. Сыч.* Потери мощности и энергии в электрических сетях. Под ред. Г.Е. Поспелова. М.: Энергоиздат, 1981. - 216 с.

3. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. В.Э.Воротницкий, Ю.С.Железко, В.Н.Казанцев и др. М.: Энергоатомиздат, 1983.-368 с.

4. *Мамедяров О.С., Баламетов А.Б.* Программа расчета установившегося режима многоузловых радиальных электрических сетей с оценкой качества напряжения. - В кн.: Вопросы разработки методов и средств управления режимами энергосистем. - М.: Изд-во ЭНИН, 1982, с. 56-59.

5. *Баламетов А.Б., Исмаилов Ф.С., Мусаханова Г.С., Керимова С.Н.* Опыт эксплуатации комплекса программ планирования режимов предприятий электрических сетей с использованием ЭВМ районного энергоуправления. - В кн.: Разработка методов и средств оптимального управления режимами энергетических систем. - М.: Изд-во ЭНИН, 1984, с. 76-82.

6. *Паздерин А.В.* Проблема моделирования распределения потоков электрической энергии в сети. – Электричество. 2004, № 10.

ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ ENERJİ AXINLARININ PAYLANMASI MODELLƏRİ MÜQAYİSƏSİ HAQQINDA

BALAMETOV E.Ə.

Elektrik şəbəkələrində enerji axınlarının elektrik enerjisinin qeydiyyatı sisteminin göstərişlərindən istifadə edən iki hesabat modeli nəzərdən keçirilir. Metodlar məsələnin həllinin dəqiqliyi və modelləşdirmənin çətinliyi nöqtəyi-nəzərindən müqayisə edilmişdir. Müqayisənin test nümunələri əsasında nəticələri verilmişdir.

ABOUT COMPARISON OF MODELS DISTRIBUTION OF STREAMS OF ENERGY IN ELECTRICAL NETWORKS

БАЛАМЕТОВ Е.А.

Two models of account of distribution of streams of energy in the electrical networks, using measurements of system of the account of the electric power are considered. Results of comparison of methods on accuracy of the decision of a problem and lab our input of modeling are resulted. Results of comparison on test examples are present.